

## A talaj pórusterének beosztása a víz mozgása alapján

KLIMES-SZMIK ANDOR

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

A talaj pórusterének a mezőgazdasági termesztés szempontjából legfontosabb részét azok a pórusok alkotják, amelyekben a víz egyensúlyi állapotát és mozgását kapilláris és gravitációs erők irányítják.

Az agrofizika megalapítójának, WOLLNY-nak [13] klasszikus munkássága nyomán DOJARENKO [3] alapos és sokoldalú kutatásainak eredményeiből alakultak ki mai ismereteink a talaj szántott rétegének pórusviszonyairól. E kutatásokat német nyelven KRAUSE [8], hazánkban pedig BALLENEGGER [1] ismertette. Utóbbiak főként a talaj pórustere jellegének a felaprózottság mértékétől függő megváltozására vonatkoztak, modelkísérletekben. A gépi talajművelés eredményét hazánkban KÉGL [7] elemezte részletesen. E kutatások lényegében a talaj pórusterének beosztását morzsákon belüli és morzsák közti porozításra eredményezték.

A század eleje óta egyre nagyobb mérvű öntözésekkel kapcsolatban a kutatók figyelme a talajnedvességre, a növények részére hozzáférhetősége felé fordult és ezzel kapcsolatban a talaj porozításának beosztásában egyre jelentősebb szempont lett a nedvesség különböző állapota a talajban. Ezen az alapon a talaj pórustere három részre oszlik: a kötött, a szabad állapotú, de kapilláris erőterben rögzített víz által elfoglalt pórusokra, valamint arra a pórusterre, amelyből a talaj időszakos túlnedvesedésekor a víz leszivároghat és a talaj levegőzését biztosítja. A víz mozgékonyasága szempontjából tehát kapilláris és nem kapilláris vagy gravitációs pórusteret különböztetünk meg. E szemlélet részletes kritikai értékelése RONE [11] munkájában található.

BUCKINGHAM [2] kapilláris potenciál elméletének összekapcsolása a talajpórusok mérete és a bennük kapilláris erőkkel visszatartott víz mennyisége közti Jurin-, illetve Bechold-féle összefüggéssel a harmincas évektől kezdve a talaj pórusterének részletes felosztását tette lehetővé.

Jurin képlete  $h = \frac{2\sigma}{\rho \cdot g \cdot r}$ , Becholdé pedig  $h = \frac{a^2}{r}$ , de  $a^2$  (a víz kapilláris állandója)  $= h \cdot r$  és így a két képlet lényegében egymással azonos.

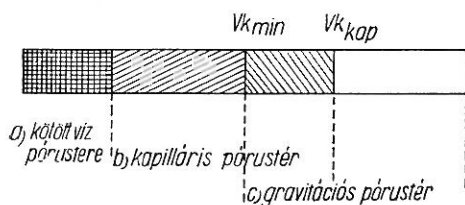
E képletekben  $h$  = a kapilláris vízemelés magassága,  $\sigma$  = a víz felületi feszültsége,  $\rho$  = a víz sűrűsége,  $r$  = a pórus sugara.  $h$  összefüggésbe hozható az  $r$  sugarú pórus kiürítéséhez szükséges szívóerővel.

SEKERA [12] már a pórusok nagysága alapján osztja fel a talaj összporozitását. Szerinte a  $< 3 \mu$  pórusok zömmel kötött vizet, a  $3-30 \mu$  ekv. átmérőjű pórusok a növények részére tartósan elraktározott vizet, az ennél nagyobbak pedig leszivárgó vizet és részben levegőt tartalmaznak. Újabban ODEN [10] osztályozásában ezek a határértékek kissé módosulnak. Beosztását a morzsák közti és morzsákon belüli porozítással is összhangba igyekszik hozni.

A pórusméretben megadott határértékek legnagyobb fogyatékosága az, hogy nincsenek összhangban a természetes talaj nedvességének egyensúlyi állapotaival. Ez azzal magyarázható, hogy a mérésekhez vagy nem természetes szerkezetű, vagy csak nagyon kis térfogatú természetes szerkezetű talajt lehet használni.

KACSINSZKIJ [6] a talaj differenciális porozitásának meghatározásánál a felsorolt osztályozások előnyeit hátrányaik nélkül igyekszik egyesíteni. Módszere azonban roppant munkaigényes, sorozatvizsgálatokra nem alkalmas.

Ha a nedvesség mozgása szempontjából vizsgáljuk a talaj pórustere beosztásának kérdését, megállapítható, hogy a viszonylag nagyobb méretű pórusok nagyság szerinti eloszlása a döntő.



1. ábra.

A talaj pórusterének beosztása. a) A kötött víz pórustere. b) Kapilláris pórustér. c) Gravitációs pórustér.

Az idézett beosztási módok és a hozzájuk kapcsolódó eljárások hiányossága, hogy a talaj duzzadásával járó változásokat — amelyek egyes talajtípusok vízgazdálkodását jelentősen befolyásolják — nem veszik figyelembe. A mérőmódszerek sorozatvizsgálatra nem alkalmasak.

Tapasztalataim szerint a talaj pórusterének a kötött víz által el nem foglalt részét kapilláris, kapilláris gravitációs és gravitációs pórustérre célszerű osztani (1. ábra).

A kapilláris gravitációs pórustér, alsó határát a természetes szerkezetű talaj minimális vízkapacitása ( $VK_{min}$ ), felső határát pedig az alacsony (10 cm-es) oszlopban meghatározott kapilláris vízkapacitása ( $VK_{kap}$ ) képezi, azokat a pórusokat foglalja magában, amelyek a talaj nedvesedését követő duzzadás, majd száradásával járó zsugorodás folyamán hol a kapilláris, hol a nem kapilláris pórusok csoportjába tartoznak, átmenetet képeznek a kettő között. Vagyis

$$P_{kap} \xleftarrow{\text{duzzadás}} P_{kap.g.} \xrightarrow{\text{zsugorodás}} P_g$$

A pórustérnek ezt a részét vizsgáltam különböző szemcseösszetételű talajokban.

### Kísérleti rész

Vizsgálataimat modelkísérletekben és természetes szerkezetű talajmintákon végeztem. A kísérleti — homok és különböző szemcseösszetételű csernozjom — talajok fontosabb jellemzőit az 1. táblázatban tüntetem fel.

A talaj pórusterének alapvető tanulmányozására különböző nagyságú morzsákból álló halmazok alkalmasak, mert ezekben lehet az egymástól eltérő jellegű póruseloszlást tervszerűen megvalósítani. A minimális és kapilláris vízkapacitás, illetve az e két határérték közti pórustér alakulását tehát különböző morzsafrakciókból készített talajoszlopokban vizsgáltam. A telítés, majd az azt követő leszívárgás időtartama egyaránt két nap volt.

Az eredményt különböző kötöttségű talajokra a 2. táblázatban foglaltam össze és a 2. és 3. ábrán szemléltettem.

1. táblázat

## A vizsgált talajok jellemzése

(1) A vizsgált talaj, a mintavétel helye és rétegmélysége cm	hy <sub>1</sub>	(2) Humusz (Tyurin szerint) %	(3) Szemcseösszetétel, mm ø			
			2,0—0,20	0,20—0,02	0,02—0,002	< 0,002
Mély termőrétegű homok, Őr- szentmihály 0—80	0,42	0,60	10,0	81,4	6,4	2,2
Alföldi csernozjom, Székkutas 4. agyagos vályog 0—30	3,88	4,38	0,1	35,9	23,2	40,8
30—50	3,77	3,64	—	34,1	23,2	42,7
50—100	3,29	2,46	—	36,4	24,6	39,0
100—150	2,73	2,11	—	38,1	20,5	41,4
Alföldi csernozjom, Székkutas 18. homokos vályog 0—10	1,87	3,78	4,2	64,1	10,8	20,9
Alföldi csernozjom, Székkutas 20. homokos vályog 0—10	1,65	4,36	8,9	57,7	10,7	22,7
Alföldi csernozjom, Székkutas 9. vályog 5—10	2,10	3,89	0,1	61,8	13,9	24,2
Alföldi csernozjom, Székkutas 23. vályog 0—10	3,76	4,52	0,1	42,3	21,1	36,5
Alföldi csernozjom, Székkutas 16. agyagos vályog 0—10	3,52	4,24	0,2	37,4	23,5	38,9
Alföldi csernozjom, Székkutas 1. agyagos vályog 0—10	4,50	3,0	—	24,2	30,8	45,0

A 2. táblázatban a talajoszplok összpórozításán (P) kívül a morzsák porozitását ( $P_m$ ) is feltüntettem, valamint ennek az összpórustérben elfoglalt részét. Míg a  $VK_{kap}$  a morzsanagyság emelkedésével fokozatosan csökken, addig a  $VK_{min}$  a morzsák méretétől független.

A talajoszplok összpórozítását a  $P = \left(1 - \frac{T_s}{F_s}\right) \cdot 100$  képlettel, a morzsákon belüli porozitást pedig a  $P_m = \frac{T_s}{T_{sm}} P_m$  képlet alapján számítottam.

A talajok fajsúlyát vízben határoztam meg és a talajmorzsák összpórozítását ( $P_m$ ) DVORACEK és DVORACEKNÉ [5] és MICSURIN [9] adatai nyomán vettem számításba.

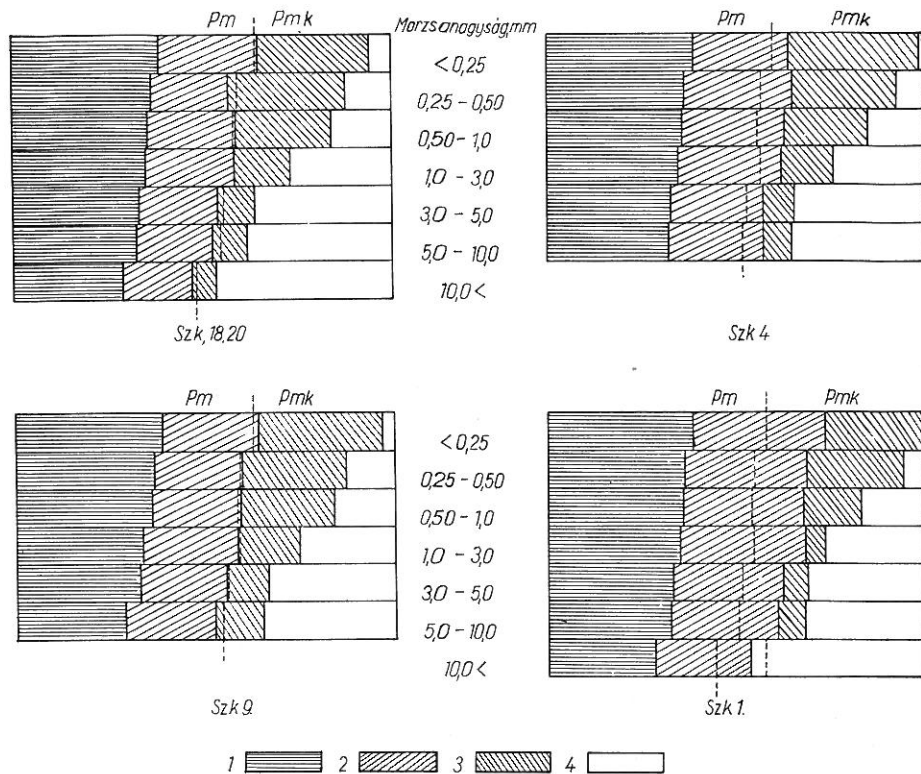
Végül a talajmorzsák térfogatsúlya  $T_{sm} = \frac{F_s \cdot 100 - P_m}{100}$ .

Ez DOLGOV [4] hasonló vizsgálatainak eredményével teljesen egybehangzó megállapítás. A  $VK_{min}$ -nak megfelelő vízmennyiség homokos vályog és vályogtalajban a morzsákon belüli pórusteret foglalja el.

A 2. ábra alapján még a következőket lehet megállapítani. A morzsák illeszkedéséből származó pórusok egy része nem kapilláris pórusokból áll, ezek a morzsák közti pórustérnek ( $P_{mk}$ ) természetszerűleg annál nagyobb hánya-

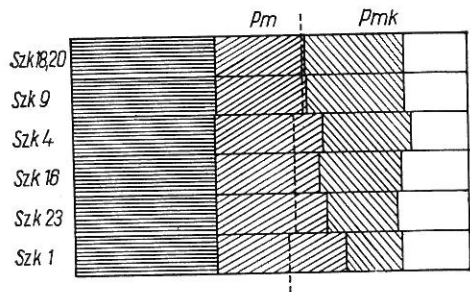
A talaj jele	Fs	P <sub>m</sub>	
		<1 mm	> 1 mm
		morzsákban	
Szk 18, 20 és 9 .....	2,67	38,0	40,0
Szk 4 .....	2,70	41,0	43,0
Szk 1 .....	2,70	34,0	36,0

dát képezik, minél nagyobb morzsákból áll a talajoszlop. A morzsákon belüli kapilláris és a morzsák illeszkedéséből létrejövő — nagy sugarú — nem kapilláris pórusok közt foglalnak helyet a feltételesen kapilláris pórusok. A talajmorzsák nagysága és a laza halmazokban illeszkedésükből származó



2. ábra.

A pórusviszonyok alakulása különböző morzsafrakciókból készített talajoszlopokban. 1: Szilárd fázis, 2: Minimális vízkapacitás ( $VK_{\min}$ ), 3: Kapilláris vízkapacitás ( $VK_{\text{kap}}$ ), 4: Az összporozítás és kapilláris vízkapacitás különbsége ( $P - VK_{\text{kap}}$ )



3. ábra.

A pórusviszonyok alakulása különböző szemcseösszetételű talajok 0,5—1 mm-es morzsáiból készített oszlopokban.

hézagok mérete közti egyszerű összefüggésből ( $r = 0,41R$  a pórusok legszűkebb és  $r = 0,73R$  a pórusok legtágabb helyein.  $r$  a pórusok,  $R$  az egymáshoz illeszkedő morzsák sugara) természetszerűen adódik, hogy a pórusok mennyisége annál nagyobb, minél kisebb morzsákból áll a talajoszlop. A  $VK_{\text{kap}} - VK_{\min}$  alakulása ezzel teljes összhangban van. Ezzel kapcsolatban az is kitűnik a 2. ábrából, hogy az 1 mm-es morzsátmérő éles határt képez. Megokolt te-

hát a talajmorzsák nagyság szerinti beosztásánál ez az általánosan használt határérték.

Agyagos vályog- és agyagtalajban a  $VK_{\min}$  nedvessége a morzsák közti pórustér egy részét is elfoglalja. Ennek megfelelően ezekben talajokban a  $VK_{\text{kap}}$  és  $VK_{\min}$  különbsége a talaj pórusterében felfelé tolódik el.

Általában leromlott szerkezetű hazai talajainkhoz legközelebb a 0,5–1,0 mm-es morzsákból készített oszlopok vízgazdálkodási sajátosságai állanak. Ezért a 3. ábrán a  $VK_{\text{kap}}$  és  $VK_{\min}$  különbségének alakulását ilyen talajoszlopokban mutatom be a talaj szemcseösszetételének függvényében.

Ez a különbség a talaj agyagfrakció-tartalmának emelkedésével csökken. A  $P_{\text{kap:g}}$  tehát összefüggést mutat a talaj szemcseösszetételével. Befolyásolja a talaj humusztartalma is.

2. táblázat

Különböző nagyságú talajmorzsákból készített oszlopok porozítáviszonyai, kapilláris és minimális vízkapacitása

(1) A morzsá- frakció, mm sz.	(2) P	(3) $P_m$	(4) $P_m$	(5) $VK_{\text{kap}}$	(6) $VK_{\min}$	(2) P	(3) $P_m$	(4) $P_m$	(5) $VK_{\text{kap}}$	(6) $VK_{\min}$
	térf. %		$P_{\%}$ -ában	súly %		térf. %		$P_{\%}$ -ában	súly %	
Szk. 18. és 20.						Szk. 9.				
<0,25	60,9	24,0	39,3	52,8	24,8	60,9	24,0	39,3	55,2	24,5
0,25–0,5	63,0	22,7	35,9	56,5	20,4	63,0	22,7	35,9	53,2	23,2
0,5–1,0	63,6	22,3	35,0	49,4	23,5	63,6	22,3	35,0	49,5	24,0
1,0–3,0	64,3	23,7	36,9	39,6	23,3	64,3	23,7	36,9	41,5	24,1
3,0–5,0	66,6	22,3	33,4	34,1	23,2	66,6	22,3	33,4	37,3	24,7
5,0–10,0	67,2	21,9	32,5	33,1	22,9	67,2	21,9	32,5	37,6	22,5
10,0–<	71,2	19,2	27,0	32,3	23,9					
k. é.					23,1					23,8
Szk. 4.						Szk. 1.				
<0,25	61,3	26,9	35,5	58,0	25,3	61,3	19,9	32,5	59,0	34,6
0,25–0,5	63,4	25,4	32,4	57,3	29,7	63,4	18,8	29,7	58,6	33,2
0,50–1,0	64,0	25,0	31,7	51,5	28,3	64,0	18,5	28,9	48,7	33,7
1,0–3,0	64,8	26,6	33,3	43,9	29,0	64,8	19,8	30,6	41,3	35,8
3,0–5,0	67,0	24,9	30,2	37,6	28,1	67,0	18,6	27,7	40,8	33,5
5,0–10,0	67,6	24,4	29,4	38,3	29,2	67,6	18,2	27,0	42,4	33,2
k. é.					28,3					33,9

A 3. táblázatban a székkutasi agyagos vályog (4. sz.) szelvényének genetikai szintjeiből vett 0,5–1,0 mm-es morzsafrakcióval végzett mérések eredményét mutatom be. Ebben a szelvényben az agyagfrakció mennyisége viszonylag szűk határok közt változik (39,0–42,7%) és ezért a  $VK_{\text{kap}} - VK_{\min} = P_{\text{kap:g}}$  értékek alakulását túlnyomóan a humusztartalom befolyásolja. A humusztartalom csökkenésével a két vízkapacitás különbsége is kisebb lesz. E különbségben azonban kifejezésre jut az A-szint szántott rétegének differenciálta porozitása is.

A talaj nedvesedésekor a részecskéket körülvevő vízhártyák kialakulásával párhuzamosan duzzad a talaj. E vízhártyák egyrészt csökkentik azt a

pórusteret, amelyben a víz a kapilláris erők hatása alatt mozoghat, másrészt ezek mentén a belső súrlódás csökkenti a talajoldat mozgásának sebességét. A talajoldat sótartalma ugyancsak növeli a víz viszkozitását.

A talaj duzzadásával párhuzamosan fellépő e két tényező befolyását a  $VK_{kap}$  és  $VK_{min}$  különbségére szintén megvizsgáltam modelkísérletben. Erre a célra a székkutasi agyagos vályog (4. sz.) 0–10 cm-es rétegéből kiszitált por-

### 3. táblázat

**A humusztartalom befolyása a kapilláris és minimális vízkapacitás különbségére a székkutasi (4. sz.) agyagos vályogtalaj 0,50–1,0 mm-es morzsafrakcióján vizsgálva**

(1) A talaj és réteg mélysége cm	Humusz (Tyurin szerint) %	(2) P	(3) P <sub>m</sub>	(4) VK <sub>kap</sub>		(5) VK <sub>min</sub>		(6) Különbség térf. %
		térf. %		súly %	térf. %	súly %	térf. %	
0–10	4,38	64,0	20,2	51,5	50,0	28,3	27,5	22,5
30–50	3,64	64,0	20,2	46,0	44,7	32,9	31,9	12,8
50–100	2,46	64,0	20,2	49,2	47,8	32,2	31,3	16,5
100–150	2,11	64,0	20,2	46,4	45,1	31,8	30,9	14,2

frakcióból készítettem oszlopokat. Kötött talajnak ez a frakciója a kötött víz által elfoglalt pórusokon kívül csak kapilláris és kapilláris gravitációs pórusokat tartalmaz, tehát a duzzadás tényezőinek tanulmányozására a legalkalmasabb. Olyan talajoszlopokat is készítettem, amelyek 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> tözeget (T), illetőleg gumbrint (G), tehát a kötött talajnál is jobban duzzadó anyagot, valamint az utóbbit kétféle mennyiségű AlCl<sub>3</sub> hozzátétellel (Al, Al') (a víz viszkozitásának fokozására) is tartalmaztak. E mérések eredményét a 4. táblázat szemlélteti.

### 4. táblázat

**A vízmozgást befolyásoló tényezők hatása a kapilláris és minimális vízkapacitás különbségére a székkutasi (4. sz.) agyagos vályogtalaj 0–10 cm-es rétegének (< 0,25 mm) porfrakcióján vizsgálva**

(1) A talajhoz adott anyag	(2) P	(3) P <sub>m</sub>	(4) VK <sub>kap</sub>		(5) VK <sub>min</sub>		(6) Különbség térf. %
	térf. %		súly %	térf. %	súly %	térf. %	
—	61,3	21,8	58,3	60,6	25,3	26,4	34,2
a) + 10% T	60,9	24,0	58,4	61,0	29,0	30,4	30,6
b) + 10% T <sub>Al</sub>	60,9	24,0	56,5	59,0	31,0	32,4	26,6
c) + 10% T <sub>Al'</sub>	60,9	24,0	54,0	56,4	30,0	31,3	25,1
d) + 10% G	60,9	24,0	56,2	58,7	28,4	29,6	29,1
e) + 10% G <sub>Al</sub>	60,9	24,0	55,5	57,9	29,4	30,7	27,2
f) + 10% G <sub>Al'</sub>	60,9	24,0	53,1	55,4	29,6	30,9	24,5

A várakozásnak megfelelően a duzzadó anyag jelenléte a  $VK_{kap} - VK_{min}$  értéket csökkentette és a talajoldat viszkozitását növelő szervesetlen só, mennyiségének arányában e csökkenést még fokozta. A telítési és leszivárgási idő ebben az esetben is két nap volt. A 4. táblázathoz az is kitűnik, hogy e csökkenés azáltal jött létre, hogy a  $VK_{kap}$  csökkent és ugyanekkor a  $VK_{min}$  pedig



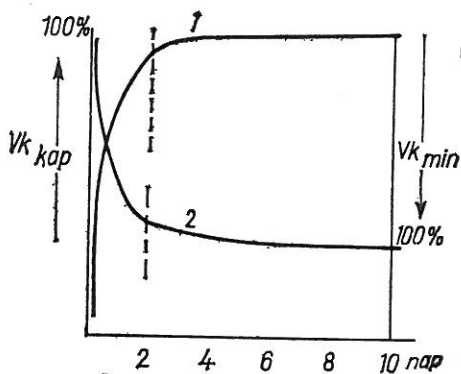
nőtt a talajban mért értékekhez viszonyítva. A fentebb ismertetett model-kísérletekhez képest itt azonos idő alatt kevesebb víz emelkedett fel a kapilláris erők hatására, illetve kevesebb szivárgott le a gravitáció érvényesülésekor. A pórusok egy részének duzzadása következtében nyilván megnövekedett a kötött vizet tartalmazó pórustér is.

A víz mozgására alapított pórustér beosztásnál az alkalmazott vizsgálati módszernek az idő tényezőt nem szabad figyelmen kívül hagynia. Az általam ajánlott hármas beosztás határértégeit a talajnedvesség egyensúlyi állapotai képezik és ez a fenti követelménnyel látszólag ellentétben áll.

Különböző típusú és szemcseösszetételű talajon végzett nagyszámú mérés eredménye azt bizonyítja, hogy mind a kapilláris telítés, mind a víz leszivárgása olyan görbével ábrázolható (4. ábra), amelynek két szakasza van: a kezdetben rohamosan emelkedő görbe (első szakasz) meglehetősen éles görbület után asszimptotikusan elaposodik (második szakasz). Ez a görbület a talajok túlnyomó többségénél 2 nap elteltével tapasztalható. Ekkor a mért egyensúlyi nedvességi állapot legalább 95%-ban beállt. A további telítés, illetve leszivárgás gyakorlati szempontból sem előnyös, mert párolgási veszteségek és időközben beálló duzzadás az eredményt torzíthatják. Ezért választottam a 2 napos időtartamot. Így a látszólagos ellentét feloldható.

Alapvizsgálataimat természetes rétegzettségű talajból vett eredeti szerkezetű talajmintákon végzett mérésekkel egészítettem ki.

Az általam használt mintavevő két részből áll: egy alul élezett peremű acélhenger, amelynek nyele a henger felső részéhez bajonett zárral csatlakozik, 11 cm magas és kb 50 mm belső átmérőjű betéthengert tartalmaz rézből. Mintavételkor az utóbbiba csúszik a természetes szerkezetű 10 cm magas talajoszlop. E betéthengert cserélve a mintavevő további mintavételre alkalmas. A betéthengert két fedelével lezárva szállítjuk a laboratóriumba. A természetes nedvességi állapotú talajminta súlyának megállapítása után elvégezzük a kapilláris telítést (a talajmintát petricsészén átfektetett és többretegű szűrőpapírral ellátott üveglapra állítjuk, a szűrőpapír kétoldalt a petricsészébe öntött vízbe lóg) és a talajminta súlyát újból lemérjük. Ezután folyami homokot tartalmazó kristályosító csészébe állítjuk és a leszivárgási idő elteltével a súlyát lemérjük. Végül a talajmintát szárítószekrényben 105° C-on kiszárítjuk és a súlymérést megismételjük. Ismert egyszerű módszerekből összeállított munkafolyamat során végzett négy súlymérés eredménye alapján, a talaj fajsúlyának és a mintavevő betéthenger térfogatának ismeretében a talaj adott nedvességi állapotára jellemző porozitásviszonyai ( $P$ ,  $T_s$ ,  $VK_{kap}$ ,  $VK_{min}$ ,  $P_{kap,g}$ ) egyszerűen megállapíthatók. A duzzadás befolyását e viszonyokra a talaj kétféle nedvességállapotában vett mintákon végzett mérések eredményének egybevetéséből kapjuk. Viszonylag száraz nyári időben úgy is járhatunk el, hogy a mintavételt a talaj természetes vízkapacitásának keretes beáztatás-



4. ábra.  
A kapilláris telítés (1) és leszivárgás (2) időgörbéje

sal végzett meghatározásokor eszközöljük a beáztatott és a vele szomszédos szárazabb helyen.

Ha szükséges, akkor a két vízkapacitás meghatározása közé beiktathatjuk a talaj vízáteresztésének a mérését is. Erre a célra a mintavevő felszerelés egyszerű állvánnyal egészül ki; a betéthengerekre egyenletes (5 cm-es) vízborítást biztosító feltét kerül. Ebben az esetben a talajt a kapilláris telítés után ajánlatos vízzel teljesen telíteni, hogy a vízáteresztést viszonylag mindig azonos körülmények közt mérhessük.

Az 5. táblázatban az őrszentmiklósi mély termőrétegű lazított és lazítatlan homokra, a 6. táblázatban pedig a székkutasi agyagos vályogtalaj szántott rétegeire vonatkozó adatokat dolgoztam fel mindkét esetben az összporozítás függvényében. Feltüntettem azoknak a talajmintáknak a számát ( $n$ ) is, amelyeket átlagoltam egy-egy összporozítás értékhez. Székkutason a 0–10, 10–20 és 20–30 cm-es rétegből egy alkalommal vett mintákat a természetes nedvességi állapot szerint is csoportosíthattam.

5. táblázat

A kapilláris és minimális vízkapacitás különbségének alakulása a természetes rétegzettségű őrszentmiklósi homoktalajban (0–80 cm)

(1) $n$	(2) $P$ térf. %	(3) Természetes nedvesség- tartalom, súly %	(4) $VK_{kap}$		(5) $VK_{min}$		(6) Különbség térfigut %	(7) $P - VK_{kap}$ térf. %
			súly %	térf. %	súly %	térf. %		
12	52,4	9,8	29,3	37,0	14,3	18,0	19,0	25,4
10	48,8	9,3	26,8	36,4	13,4	18,2	18,2	12,4
13	46,5	7,9	24,1	34,2	12,9	18,3	15,9	12,3
9	44,3	7,8	22,8	33,5	11,9	17,6	15,9	10,8
4	42,6	7,7	21,6	32,9	10,6	16,1	16,8	9,7
48								

A vizsgált  $VK_{kap} - VK_{min}$  érték a homoktalaj pórusterében 15-nél nagyobb térf. %-ot tesz ki, annak ellenére, hogy értéke az összporozítás csökkenésével kis mértékben csökken. Ezzel egyidejűleg a pórustérben a nagyobb pórusok felé tolódik el. A feltételesen kapilláris pórusok mennyisége homokban kifejezetten több mint a kötöttebb talajokban. A  $VK_{kap}$  nem sokkal kisebb, mint agyagos vályogban, de a  $VK_{min}$  értéke csupán mintegy fele az agyagos vályog minimális vízkapacitásának.

A természetes szerkezetű agyagos vályogtalajban, mind a természetes vízkapacitáshoz közelálló, mind a hervadáspont körüli nedvességi állapotban, az összporozítás csökkenésével a kapilláris és a minimális vízkapacitás is csökken. Míg azonban a kettő különbsége ( $VK_{kap} - VK_{min}$ ) a nedves talajban úgyszólván állandónak mondható, addig ez az érték a száraz talajban az összporozítás függvényében rohamosan csökken, a nedves talajban, az 58,4–47,5 összporozításközben átlagosan mért 6,5 térf. %-ot azonban csak jóval kisebb (37,0%) összporozításnál közelíti meg. A talaj duzzadásával járó csökkent vízmozgás tehát élesen megmutatkozik a vizsgált póruscsoport ( $P_{kap,g}$ ) mennyiségi alakulásában.

Ha a nedves és száraz talajra kapott értékek közül egymással csupán azokat hasonlítjuk össze, amelyek a 6. táblázatban közel azonos összporozítás-



hoz vannak rendelve, akkor kitűnik az is, hogy a  $VK_{kap} - VK_{min}$  száraz talajban nemcsak mintegy kétszerese a nedves talajban mért értéknek, hanem itt a nem kapilláris pórustér ( $P - VK_{kap}$ ) is sokkal nagyobb. Ezekben az adatokban tehát érzékelhető az is, hogy a talaj kiszáradásakor a nem kapilláris pórustér is növekszik. Ez a növekedés minden bizonnyal olyan folyamat eredménye, amelynek során a kötött vizet tartalmazó pórusokban a vízhártyák elvékonyodnak és ennek eredményeképpen e pórustér egy része kapilláris gravitációs pórusokká ( $P_{kap.g}$ ) alakul. Ezt bizonyítja a  $VK_{min}$  eltolódása a kisebb értékek felé. A  $VK_{kap} - VK_{min}$  különbség elhatárolása a talaj pórusterében tehát indokolt és a talaj szerkezetével kapcsolatos változó fizikai sajátságainak jellemzésére alkalmas.

6. táblázat

A kapilláris és minimális vízkapacitás különbségének alakulása  
a természetes szerkezetű székkutasi agyagos vályogtalajban (4. 0=30 cm),  
a talaj különböző nedvességi állapotában

(1) n	(2) P súly %	(3) Természetes nedvesség- tartalom, súly %	(4) VK <sub>kap</sub>		(5) VK <sub>min</sub>		(6) Különbség, térfogat %	(7) P - VK <sub>kap</sub> térf. %
			súly %	térf. %	súly %	térf. %		
a) Nedves talajban								
3	58,4	23,1	36,0	40,5	29,3	32,9	7,6	17,9
2	56,3	22,0	32,8	38,7	28,7	33,8	4,9	17,6
2	54,3	22,4	36,6	45,2	30,0	37,3	7,9	9,1
3	52,6	22,4	34,4	44,0	29,0	37,1	6,9	8,0
4	51,3	20,8	31,0	40,8	27,0	35,5	5,3	10,5
1	49,7	21,8	31,4	42,7	26,7	36,3	6,4	7,0
2	47,5	22,3	32,4	45,9	27,6	39,1	6,8	1,6
18		22,1					6,5	
b) Száraz talajban								
1	48,6	13,4	25,4	33,4	19,6	25,8	13,6	15,2
2	47,3	12,2	25,7	34,6	18,2	24,5	0,1	12,7
3	44,2	14,5	27,1	38,7	21,0	30,0	8,7	5,5
1	37,0	9,9	19,1	30,8	14,7	23,7	7,0	6,2
6		12,0						

Az idáig rendelkezésünkre álló adatok alapján, a talaj természetes vízkapacitása körüli nedvességi állapotában mérve, az 1,1—1,45 térfogatsúly között ( $P = 60—45\%$ ) a kapilláris -- gravitációs pórustér a talaj szemcseösszetételével nagyjából a következő összefüggést mutatja:

	Homok	Vályog	Agyagos vályog	Agyag
$P_{kap.g}$ térf. %:	> 15	15—10	10—4	4 >

A  $P_{kap.g}$  meghatározása gyakorlati szempontból öntözési kérdések megoldásához, elsősorban az öntözés módjának megválasztásához adhat előreláthatólag segítséget. Erre a célra a méréseket a talaj két, egymástól jól elütő, nedvességi állapotában kell elvégezni.

### Összefoglalás

Különböző szemcseösszetételű talajok különböző nagyságú morzsáiból készített oszlopokon, modellkísérletekben, valamint természetes szerkezetű talajokon vizsgáltam a kapilláris ( $VK_{kap}$ ) és minimális vízkapacitás ( $VK_{min}$ ) alakulását.

A következőket állapítottam meg:

1. A kapilláris és a minimális vízkapacitás különbsége jellegzetes póruscsoportot képvisel a talajban. Az e két vízkapacitás által határolt pórustér nagysága a talaj szemcseösszetételével, humusztartalmával, nedvességi állapotával, a talajoldat sótartalmával érzékenyen változik.

2. Ezen az alapon a talaj pórusterét kötött víz által elfoglalt, kapilláris ( $P_{kap}$ ), kapilláris — gravitációs ( $P_{kap,g}$ ) és gravitációs ( $P_g$ ), (illetve nem kapilláris) pórustérre ajánlom felosztani (1. ábra).

3. Az általam elhatárolt kapilláris — gravitációs pórustér nagysága a talaj agyagtartalmának emelkedésével csökken.

Duzzadó talajokban benedvesedéskor a nem kapilláris pórusok, kiszáradáskor a kisebb méretű, tehát kapilláris pórusok irányába tolódik el és egyúttal nagyobb lesz.

4. A  $P_{kap,g}$  elhatárolása alkalmasnak látszik a talajok osztályozására, legfontosabb vízgazdálkodási sajátságaiuk jellemzésére. Támpontokat szolgáltat a talaj öntözési kérdések megoldásához, különösképpen az öntözés módjának megválasztásához. Ugyancsak alkalmasnak látszik sós talajok javulásának nyomonkövetésére is.

5. Megvizsgáltam a  $VK_{kap}$ —és  $VK_{min}$ —értékek alakulását a morzsákon belüli és morzsák közti pórustér vonatkozásában is. A talaj pórusterének ez a felosztása bár jól használható a földművelő gépek munkájának elbírálásánál, de nem alkalmazható a szántott alatti rétegekben, nem is említve azt a körülményt, hogy homokban elveszti az értelmét.

6. Az általam ajánlott pórusbeosztás egységesen, minden talajra alkalmazható, a szükséges mérések egyszerű, közismert módszerekkel elvégezhetők. A gyakorlati felhasználás szempontjából előnyösebb a talaj pórusterének a pórusok nagysága szerinti beosztásánál is.

7. Ismertettem a vizsgálatokhoz szükséges mérési módszereket és eszközöket.

*Érkezett : 1961. november 30.*

### Irodalom

- [1] BALLANEGGER, R.: A rög fizikája. Vízügyi Közlem. **15.** 134. 1933.
- [2] BUCKINGHAM, E.: Studies on the movement of soil moisture. US Dept. Agric. Bur. Soils. Washington. Bull. 38. 1907.
- [3] DOJARENKO, A. G.: K izucseniju sztrukturi pocsvü kak szootnoszenija nekapillarnoj i kapillarnoj szkvaznoszti i eje znacsenija v plodorodii pocsvü. Naucs. Agron. Zs. (7—8). 451. 1924.
- [4] DOLGOV, I. Sz.: Isszledovanija podviznoszti pocsvennoj vlagi i eje dosztupnoszti dlja rasztenii. Izd. AN SSSR. Moszkva. 1948.
- [5] DVORACSEK, M. & DVORACSEK, M.-né: Ósállapotú és művelt talajok szerkezete. MTA Agrártud. Oszt. Közlem. **9.** 111. 1956.
- [6] KACSINSZKIJ, A. N., VADJUNINA, F. D. & KOCSEKINA, A. Z.: Opüt agrofiziceszkov harakterisztiki pocsv na primäre centralnogo Urala. Szelyhozgiz. Moszkva. 1950.

- [7] KÉGL, L.: Újabb vizsgálatok a talajszerkezet néhány sajátosságának és a talajművelő gépek munkájának összefüggéséről. *Agrokémia és Talajtan*. 5. 335—350. 1956.
- [8] KRAUSE, M.: Russische Forschungen auf dem Gebiete der Bodenstruktur. *Landw. Jahrb.* 73. 603. 1931.
- [9] MICSURIN, N. B.: Dosztupnoszt vlagi dlja rasztenija v zaviszimoszti ot sztruktur i plotnoszti szlozszenija pocsv i gruntov. *Vopr. Agron. Fiz. Leningrad*. 56. 1957.
- [10] ODEN, S.: Förslag till klassifikation av markens porer. *K. Lantbr. Akad. Tidskr.* 96. 297—313. 1957.
- [11] RODE, A. A.: Pocsvennaja vlaga. *Izd. AN SSSR. Moszkva*. 1952.
- [12] SEKERA, F.: Gesunder und kranker Boden. *Parey. Berlin*. 1951.
- [13] WOLLNY, E.: Untersuchungen über die kapillare Leistung des Wassers in Böden. *Fortschr. Geb. Agr. Phys.* 7. 269. 1884 es 8. 206. 1885.

## Классификация порозности почвы на основе передвижения воды

А. КЛИМЕШ-СМИК

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии АН Венгрии, Будапешт

### Резюме

Капиллярную и минимальную влагоемкость почвы изучали в модельных лабораторных опытах с насыщенными колоннами из почвенных отделеностей различного размера, а также на образцах с ненарушенным строением.

Установили следующее:

1. Разница между капиллярной и минимальной влагоемкостью — характерная часть порозности почвы. Порозность, ограниченная этими двумя величинами влагоемкости, изменяется в зависимости от механического состава, содержания гумуса и влажности почвы.

2. Автор рекомендует подразделить порозность на занятую связанной водой, капиллярную, капиллярно-гравитационную и гравитационную (т. е. некапиллярную) порозность (Рис. 1).

3. Выделенная им капиллярно-гравитационная порозность (обозн.  $R_{\text{кар.г}}$ ) уменьшается с увеличением глинистой фракции в почве. В набухающих почвах при увлажнении эта величина сдвигается в сторону некапиллярных пор, при высыхании — в сторону капиллярных пор и одновременно с этим увеличивается.

4. Величина  $R_{\text{кар.г}}$  кажется пригодной для классификации почв и характеристики их важнейших водно-хозяйственных свойств. Эта величина может оказать помощь при решении задач, связанных с орошением, особенно при выборе способа орошения. Она также кажется пригодной для наблюдения за процессом улучшения засоленных почв.

5. Автор исследовал также то, в каком соотношении находятся капиллярная и минимальная влагоемкость ( $VK_{\text{кар}}$  и  $VK_{\text{мин}}$ ) и межагрегатная и внутриагрегатная порозность почвы. Эту классификацию порозности удобно использовать для характеристики работы почвообрабатывающих орудий, но она не применима для подпахотного горизонта, не говоря уже о том, что она теряет смысл при характеристике песков.

6. Рекомендованная автором классификация порозности может быть использована для всех почв, необходимые измерения легкодоступны и общеизвестны. Для практического использования более удобна, чем классификация пор по их размерам.

7. Основным орудием для взятия образцов служит стальной цилиндр с заостренным нижним краем и ручкой в который помещают сменные цилиндрические металлические вкладыши высотой в 11 и диаметром в 5 см. При взятии образцов почвенный столбик с ненарушенной структурой высотой в 10 см попадает в эти вкладыши, к которым имеются закрывающие их с обеих концов крышки.

После того, как взвесили почвенный образец при полевой влажности, его капиллярно насыщают и опять взвешивают ( $VK_{\text{кар}}$ ). После этого образец помещают в кристаллизатор, наполненный речным песком и выждав время необходимое для просачивания воды, опять взвешивают ( $VK_{\text{мин}}$ ). Как капиллярное насыщение, так и просачивание в песок проводятся каждое в течение двух суток. По истечению этого срока, почву в сушильном шкафу высушивают при  $105^\circ\text{C}$  и опять взвешивают. Из полученных данных, зная удельный вес почвы и объем цилиндра-вкладыша можно определить порозность

почвы ( $P$ ,  $VK_{\text{кар}}$ ,  $VK_{\text{мин}}$ ,  $P_{\text{кар-г}}$ ). Между определением двух видов влагоемкости можно провести и измерение водопроницаемости почвы. Для этой цели оборудование дополняется штативом для фильтрования.

Табл. 1. Характеристика исследованных почв. (1) Наименование почвы, место взятия образцов, глубина взятия в см. (2) Содержание гумуса по Тюрину в  $\%$ . (3) Структурный состав, диаметр фракций, мм.

Табл. 2. Порозность в насыпных колоннах состоящих из почвенных отделений различного размера, их капиллярная и наименьшая влагоемкость. (1) Фракция почвы,  $\varnothing$  мм. (2) Общая скважность ( $P$ ), объёмные  $\%$ . (3) Внутриагрегатная порозность ( $P_m$ ), объёмные  $\%$ . (4) Внутриагрегатная порозность в  $\%$  от  $P$ . (5) Капиллярная влагоемкость ( $VK_{\text{кар}}$ ), весовые  $\%$ . (6) Минимальная влагоемкость ( $VK_{\text{мин}}$ ), весовые  $\%$ .

Табл. 3. Влияние содержания гумуса на разность между капиллярной и наименьшей влагоемкостью при исследовании фракции 0,5—1 мм секкуташской (№ 4) суглинистой почвы. (1) Глубина взятия образца, см. (2) Общая скважность ( $P$ ), объёмные  $\%$ . (3) Внутриагрегатная порозность ( $P_m$ ) объёмные  $\%$ . (4) Капиллярная влагоемкость ( $VK_{\text{кар}}$ ) объёмные  $\%$ . (5) Минимальная влагоемкость ( $VK_{\text{мин}}$ ), вес. и объёмные  $\%$ . (6) Разность ( $VK_{\text{кар}} - VK_{\text{мин}}$ ) объёмные  $\%$ .

Табл. 4. Влияние факторов воздействующих на передвижение воды, на разность между капиллярной и наименьшей влагоемкостью, исследованное на фракции пыли ( $< 0,25$  мм) из 0—10 см слоя секкуташской (№ 4) суглинистой почвы. (1) Материал, добавленный к почве, а) 10% торфа ( $T$ ), б) 10% торфа и немного  $AlCl_3$  ( $T_{Al}$ ), в) 10% торфа и немного больше  $AlCl_3$  ( $T_{Alp}$ ), г) 10% гумбрина ( $G$ ), д) 10% гумбрина и немного  $AlCl_3$  ( $G_{Al}$ ), е) 10% гумбрина и немного больше  $AlCl_3$  ( $G_{Alp}$ ). (2) Общая скважность, ( $P$ ) объёмные  $\%$ . (3) Внутриагрегатная порозность ( $P_m$ ), объёмные  $\%$ . (4) Капиллярная влагоемкость ( $VK_{\text{кар}}$ ), объёмные и весовые  $\%$ . (5) Наименьшая влагоемкость ( $VK_{\text{мин}}$ ), объёмные и весовые  $\%$ . (6) Разность ( $VK_{\text{кар}} - VK_{\text{мин}}$ ), объёмные  $\%$ .

Табл. 5. Разность между капиллярной и наименьшей влагоемкостью в песчаной почве с ненарушенной структурой из Эрсентмиклоша (0—80 см). (1) Номер средних почвенных образцов ( $n$ ). (2) Общая скважность ( $P$ ), объёмные  $\%$ . (3) Естественная влажность, весовые  $\%$ . (4) Капиллярная влагоемкость ( $VK_{\text{кар}}$ ), объёмные и весовые  $\%$ . (5) Наименьшая влагоемкость ( $VK_{\text{мин}}$ ), объёмные и весовые  $\%$ . (6) Разность ( $VK_{\text{кар}} - VK_{\text{мин}}$ ). (7) Разность между общей порозностью и капиллярной влагоемкостью ( $P - VK_{\text{кар}}$ ) объёмные  $\%$ .

Табл. 6. Разность между капиллярной и наименьшей влагоемкостью в суглинистой почве с ненарушенной структурой из Секкуташа (№ 4.0—30 см) при различной влажности почвы. (1) Номер средних образцов ( $n$ ). (2) Общая скважность, объёмные  $\%$ . (3) Естественная влажность, весовые  $\%$ . (4) Капиллярная влагоемкость ( $VK_{\text{кар}}$ ), весовые и объёмные  $\%$ . (5) Наименьшая влагоемкость ( $VK_{\text{мин}}$ ) весовые и объёмные  $\%$ . (6) Разность ( $VK_{\text{кар}} - VK_{\text{мин}}$ ). (7) Разность между общей порозностью и капиллярной влагоемкостью ( $P - VK_{\text{кар}}$ ), объёмные  $\%$ . а) Во влажной почве. б) В сухой почве.

Рис. 1. Распределение порозности почвы. а) Объем пор занятых связанной водой, б) капиллярная скважность, в) гравитационная скважность.

Рис. 2. Распределение порозности в насыпных колоннах, изготовленных из различных фракций почвенных отделений. (1) Твердая фаза. (2) Наименьшая влагоемкость ( $VK_{\text{мин}}$ ). (3) Капиллярная влагоемкость ( $VK_{\text{кар}}$ ). (4) Разность между общей скважностью и капиллярной влагоемкостью ( $P - VK_{\text{кар}}$ ).

Рис. 3. Распределение порозности в насыпных колоннах, состоящих из 0,5—1 мм фракции различных по составу почв.

Рис. 4. Кривая времени капиллярного насыщения (1) и просачивания (2).

## La répartition de l'espace poreux des sols selon le mouvement de l'eau

A. KLIMES-SZMIK

Institut des Recherches de Pédologie et d'Agrochimie de l'Académie des Sciences Hongroise, Budapest

### Résumé

L'auteur a étudié la formation de la capacité capillaire et de la capacité minimale sur des modèles consistant en des colonnes préparées avec les grumeaux de diverses grandeurs de sols de composition granulaire différente, ainsi que sur des sols à l'état naturel.

Il a établi ce qui suit:

1. La différence entre la capacité capillaire et la capacité minimale représente dans le sol un groupe de pores caractéristique. Le volume de l'espace poreux délimité par ces deux sortes de porosités varie sensiblement avec la composition granulaire du sol, sa teneur en humus et son état d'humidité.

2. En partant de ce fait l'auteur préconise de répartir l'espace poreux du sol de la manière suivante: espace occupé par l'eau adsorbée, espace capillaire, espace capillaire-gravitatif et espace gravitatif (non capillaire resp.) (Fig. 1).

3. Le volume de l'espace capillaire-gravitatif défini par l'auteur (son signe est  $P_{kap}$ ) diminue avec l'augmentation de la fraction argileuse du sol. A l'humectation du sol il se déplace dans la direction des pores non capillaires dans les terres qui se gonflent, au dessèchement il se déplace dans la direction des pores de volume moindre (capillaires) et en même temps il devient plus grand.

4. La détermination de  $P_{kap}$  peut servir à la classification des sols et à caractériser les propriétés les plus importantes de leur régime d'eau. Elle peut servir de point d'appui pour la solution de certains problèmes d'irrigation, surtout ce qui concerne le mode d'irrigation. Elle semble aussi être apte à poursuivre la marche de l'amélioration des sols salins.

5. L'auteur a aussi étudié la formation des valeurs  $VK_{kap}$  et  $VK_{min}$  en relation avec le volume des pores en dedans des grumeaux et entre les grumeaux. Quoiqu'on puisse bien se servir de cette distinction pour l'évaluation du travail des instrument de labour, elle n'est pas applicable dans les couches au-dessous de la terre labourée, dans les sables elle perd son sens.

6. La répartition des pores préconisée par l'auteur est applicable uniformément à toutes les terres, les mesures nécessaires peuvent être faites avec des méthodes simples, bien connues. Au point de vue pratique elle est préférable aussi à la distinction de la porosité selon la grandeur des pores.

7. La partie essentielle de l'instrument nécessaire pour la détermination est un cylindre en acier à bord aiguë à sa base et muni d'un manche. Dans ce cylindre l'on peut placer un petit cylindre en métal haut de 11 cm et large de 5 cm environ. Lors de la prise d'essai la colonne de terre haute de 10 cm, à structure originale, est glissée dans ce cylindre. En échangeant cette pièce intercalaire l'instrument est prêt pour une nouvelle prise d'essai.

Après avoir pesé l'échantillon à l'état d'humidité naturelle on procède à sa saturation capillaire et on le pèse de nouveau ( $VK_{kap}$ ). Ensuite on le place sur un cristalliseur rempli de sable fluvial et après le temps nécessaire pour l'infiltration de l'eau dans le sable on le pèse de nouveau ( $VK_{min}$ ). La saturation et l'infiltration demandent chacune 2 jours. En suite on sèche l'échantillon à 105° C et l'on repèse. De ces données, en connaissant le poids spécifique du sol mesuré dans de l'eau et le volume du petit cylindre, l'on peut calculer les conditions de porosité du sol ( $P$ ,  $VK_{kap}$ ,  $VK_{min}$ ,  $P_{kap}$ ). Entre les déterminations des deux sortes de porosité l'on peut aussi intercaler la détermination du pouvoir d'infiltration de l'eau dans le sol. Dans ce but l'appareil pour la prise d'essai est complété d'un simple support pour le filtrage.

Tableau 1. Caractéristiques des sols examinés. (1) Sol examiné, lieu d'origine et profondeur de l'échantillon, cm. (2) Teneur en humus selon Tyurin, %. (3) Composition granulaire, mmø.

Tableau 2. Porosité, capacité d'eau capillaire et minimale des colonnes préparées de grumeaux de terre de diverses grandeurs. (1) Diamètre des grumeaux, mm. (2) Porosité totale ( $P$ ), vol. %. (3) Porosité en dedans des grumeaux ( $P_m$ ), vol. %. (4) Porosité en dedans des grumeaux exprimée en % de  $P$ . (5) Capacité d'eau capillaire ( $VK_{kap}$ ) % poids. (6) Capacité d'eau minimale ( $VK_{min}$ ), % poids.

Tableau 3. Influence de la teneur en humus sur la différence entre la capacité d'eau capillaire et minimale déterminée avec les fractions de grumeaux d'un diamètre de 0,5 à 1 mm du sol de limon argileux de Székkutas (No. 4.) (1) Profondeur de l'échantillon, cm. (2) Porosité totale ( $P$ ), vol. %. (3) Porosité en dedans des grumeaux ( $P_m$ ), vol. %. (4) Capacité d'eau capillaire ( $VK_{kap}$ ), % vol. et poids. (5) Capacité d'eau minimale ( $VK_{min}$ ), % vol. et poids. (6) Différence ( $VK_{kap} - VK_{min}$ ), % vol.

Tableau 4. Effet des facteurs influençant le mouvement de l'eau sur la différence entre la capacité d'eau capillaire et minimale déterminée sur la fraction de poussière (< 0,25 mm) de la couche de 0 à 10 cm du sol de limon argileux de Székkutas (No 4). (1) Matière ajoutée au sol. a) 10% de tourbe (T), b) 10% de tourbe et un peu de  $AlCl_3$  ( $T_{Al}$ ), c) 10% de tourbe et un peu plus de  $AlCl_3$  ( $T_{Al'}$ ) d) 10% de gumbrin (G), e) 10% de gumbrin et un peu de  $AlCl_3$  ( $G_{Al}$ ), f) 10% de gumbrin et un peu plus de

$\text{AlCl}_3$  ( $G_{\text{Al}}$ ). (2) Porosité totale (P), vol. % (3) Porosité en dedans des grumeaux ( $P_m$ ), vol. %. (4) Capacité d'eau capillaire ( $VK_{\text{kap}}$ ), % vol. et poids. (5) Capacité d'eau minimale ( $VK_{\text{min}}$ ), % vol. et poids. (6) Différence ( $VK_{\text{kap}} - VK_{\text{min}}$ ), % vol.

*Tableau 5.* Formation de la différence entre les capacités d'eau capillaire et minimale dans le sol sableux de Órszentmiklós à l'état de stratification naturel (0—80 cm). (1) Nombre des échantillons composant la moyenne (n). (2) Porosité totale (P), % vol. (3) Humidité lors de la prise d'essai, % poids. (4) Capacité d'eau capillaire ( $VK_{\text{kap}}$ ), % vol. et poids. (5) Capacité d'eau minimale, % vol. et poids. (6) Différence ( $VK_{\text{kap}} - VK_{\text{min}}$ ), % vol. (7) Différence entre la porosité totale et la capacité d'eau capillaire ( $P - VK_{\text{kap}}$ ), % vol.

*Tableau 6.* Formation de la différence entre la capacité d'eau capillaire et minimale dans le sol de limon argileux de Székkutas à l'état de structure naturel (No 4, 0 à 30 cm), à diverses teneurs d'humidité. (1) Nombre des échantillons composant la moyenne (n). (2) Porosité totale (P), % vol. (3) Humidité lors de la prise d'essai, % vol. (4) Capacité d'eau capillaire ( $VK_{\text{kap}}$ ), % poids et vol. (5) Capacité d'eau minimale ( $VK_{\text{min}}$ ), % poids et vol. (6) Différence ( $VK_{\text{kap}} - VK_{\text{min}}$ ), % vol. (7) Différence entre la porosité totale et la capacité d'eau capillaire ( $P - VK_{\text{kap}}$ ), % vol. a) En sol humide. b) En sol sec

*Fig. 1.* Répartition du volume des pores du sol: a) volume des pores occupées par l'eau adsorbée, b) volume des pores occupées par l'eau capillaire, c) volume des pores occupées par l'eau de gravitation.

*Fig. 2.* Formation des conditions de la porosité dans des colonnes de terre préparées avec diverses fractions de grumeaux: (1) Phase solide, (2) Capacité d'eau minimale ( $VK_{\text{min}}$ ), (3) Capacité d'eau capillaire ( $VK_{\text{kap}}$ ), (4) Différence entre la porosité totale et la porosité capillaire ( $P - VK_{\text{kap}}$ ).

*Fig. 3.* Formation des conditions de la porosité dans des colonnes préparées des grumeaux de 0,5 à 1 mm de sols d'une composition granulaire différente.

*Fig. 4.* Courbe du temps de la saturation capillaire (1) et de l'écoulement (2).